Untersuchungen über die Verdunstungskälte verschiedener Flüssigkeiten und Abhängigkeit derselben vom Feuchtigkeitsgehalte der Luft.

Inaugural-Dissertation

eingereicht

zur Erlangung der Doctorwürde

bei

der philosophischen Fakultät zu Marburg

von

Willibald Ludwig
aus Heiligenfelde i. Altm.

Marburg.
1884.

Seinem hochgeschätzten Lehrer

Herrn Prof. Dr. F. Melde

in dankbarer Verehrung

gewidmet

vom

Verfasser.

Die Verdunstungskälte des Wassers ist vielfach zum Gegenstande der sorgfältigsten Untersuchungen gemacht worden. Insbesondere Gay-Lussac und Régnault*) haben die Gesetze festgestellt, von denen dieselbe abhängig ist; vermittelst des August'schen Psychrometers ist die Verdunstungskälte des Wassers unter den gewöhnlichen Verhältnissen der Atmosphäre für die Hygrometrie von Wichtigkeit geworden. Von der Verdunstungskälte verschiedener anderer Flüssigkeiten macht man in neuerer Zeit vielfach praktischen Gebrauch; so werden z. B. kondensirtes Ammoniakgas und Aether um der bedeutenden Temperaturerniedrigung willen, die bei ihrer Verflüchtigung unter geringem Drucke entsteht, zur künstlichen Eisfabrikation verwandt. Indessen liegen genaue Untersuchungen über die Verdunstungskälte fast aller Flüssigkeiten, ausser Wasser, noch nicht vor.

Es ist nun von mir eine Anzahl flüchtiger Flüssigkeiten daraufhin untersucht worden: 1) wie gross ihre Verdunstungskälte unter den gewöhnlichen Verhältnissen der Atmosphäre ist; 2) welche Faktoren den Werth ihrer Verdunstungskälte bedingen; 3) welchen Einfluss insbesondere der in der Luft enthaltene Wasserdampf auf die Verdunstungskälte ausübt.

Die Beobachtungen wurden in folgender Weise angestellt:

Drei in ihrem Gange genau übereinstimmende Thermometer, welche in Fünftel Grade C. getheilt waren, wurden in einem gegenseitigen Abstande von ungefähr 7 cm neben einander frei aufgehängt, und zwar so, dass ihre Gefässe genau in gleicher Höhe sich befanden. Das eine derselben war ohne Umhüllung und diente zur Messung der Lufttemperatur; die beiden anderen waren, wie beim August'schen Psychrometer

*) Régnault, Compt. rend. XX. 1127.

mit einer dünnen Mousselinehülle umkleidet; das eine von diesen wurde stets mit Wasser, das andere mit der zu untersuchenden Flüssigkeit benetzt; die Benetzung geschah mit Hülfe verschiedener weicher Haarpinsel. Die Beobachtungen wurden in einem geschlossenen, sonst nicht benutzten Zimmer vorgenommen, doch wurde stets durch Oeffnen von Thür oder Fenster eine möglichst gleichmässige Luftbewegung innerhalb des ganzen Zimmers hergestellt, so dass ein wegen Einflusses der Luftbewegung etwa anzuwendender Correktionsfaktor annähernd als konstant angenommen werden konnte. Da infolge der raschen Verdunstung der meisten der angewandten Flüssigkeiten, sowie infolge der Absorption von Wasserdampf aus der umgebenden Luft der tiefste Stand des Thermometers gewöhnlich nur wenige Sekunden andauerte, so musste natürlich der Beobachtungsfehler ziemlich gross ausfallen; es wurde daher nur auf Zehntel Grade genau abgelesen; ebenso wurden aus demselben Grunde an den Ablesungen nur die konstanten Correktionen der einzelnen Thermometer, sowie Correktionen wegen des vorstehenden Quecksilberfadens angebracht. Der Barometerstand war während der ganzen Beobachtungsperiode ziemlich konstant, im Mittel 740 mm; die äussersten Schwankungen lagen zwischen 734 und 748 mm. Auch eine Correktion wegen des Barometerstandes wurde daher vernachlässigt, da sich dieselbe als zu gering herausstellte, um mit Sicherheit Regeln darüber aufstellen zu können. Alle Beobachtungen sind deshalb als auf den Druck von 740 mm bezogen anzusehen, wie auch dieser Druck für Berechnung des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes gleichmässig angenommen ist.

Es wurde stets erst abgewartet, bis das mit Wasser befeuchtete Thermometer einen konstanten Stand erreicht hatte, ehe das andere Thermometer mit der zu untersuchenden Flüssigkeit befeuchtet wurde; eine Ablesung wurde alsdann erst nach länger fortgesetzter und mehrmals wiederholter Befeuchtung vorgenommen, da anderen Falles infolge der noch nicht vollständigen Abkühlung des Thermometergefässes unrichtige Werthe erzielt werden mussten.

Zu den Untersuchungen verwendet wurden folgende 5 Flüssigkeiten: **Alkohol, Benzin, Chloroform, Schwefelkohlenstoff** und **Aether.***) Die Resultate der Beobachtungen, versehen mit den oben angegebenen Correktionen, sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt. Hierin bezeichnet:

t die Temperatur der Luft,

t' diejenige des mit Wasser benetzten Thermometers,

d die Differenz beider,

t'_a, t'_b, t'_c, t'_s, t'_{ae} die Temperatur des mit Alkohol, bezw. Benzin, Chloroform, Schwefelkohlenstoff oder Aether benetzten Thermometers; ferner sei:

$\partial'_a = t' - t'_a$, $\partial'_b = t' - t'_b$, u. s. w.

$\partial''_a = t - t'_a$, $\partial''_b = t - t'_b$, u. s. w.

Ausserdem bezeichne e die Spannkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes und τ den Thaupunkt.

I. Untersuchungen mit Alkohol.

t'	t	d	t'_a	∂'_a	∂''_a	e	τ
5.5	7.2	1.7	2.2	3.3	5.0	5.76	3.2
6.2	11.5	5.3	2.5	3.7	9.0	3.98	—1.9
6.4	8.1	1.7	3.0	3.4	5.1	6.19	4.2
6.8	9.3	2.5	3.2	3.6	6.1	5.91	3.6
7.4	9.8	2.4	3.9	3.5	5.9	6.28	4.4
7.8	12.9	5.1	3.9	3.9	9.0	4.90	0.9
8.3	13.5	5.2	4.4	3.9	9.1	5.11	1.5
8.4	11.2	2.8	4.6	3.8	6.6	6.59	5.1
8.4	10.3	1.9	4.7	3.7	5.6	7.11	6.2
8.8	14.4	5.6	4.8	4.0	9.6	5.16	1.6
9.1	11.7	2.6	5.2	3.9	6.5	7.10	6.2
9.4	11.9	2.5	5.6	3.8	6.3	7.33	6.7
10.0	16.5	6.5	5.7	4.3	10.8	5.33	2.1
10.7	15.5	4.8	6.5	4.2	9.0	6.76	5.5
10.9	16.3	5.4	6.8	4.1	9.5	6.54	5.0
11.4	14.9	3.5	7.2	4.2	7.7	7.97	7.9
11.5	19.4	7.9	7.0	4.5	12.4	5.43	2.3

*) Die Flüssigkeiten wurden sämmtlich aus der Apotheke bezogen und ihre chemische Reinheit verbürgt; nur Chloroform enthielt einen Zusatz von 0,2 bis 0,3 Procent Alkohol.

Alkohol.

t'	t	d	t'_a	∂'_a	∂''_a	e	τ
11.7	15.1	3.4	7.5	4.2	7.6	8.24	8.4
11.8	14.3	2.5	7.8	4.0	6.5	8.83	9.4
12.0	14.7	2.7	7.9	4.1	6.8	8.86	9.5
12.2	19.4	7.2	7.7	4.5	11.7	6.32	4.5
12.4	16.3	3.9	8.0	4.4	8.3	8.41	8.7
12.7	21.6	8.9	7.9	4.8	13.7	5.66	2.9
12.8	15.1	2.3	8.6	4.2	6.5	9.65	10.8
13.0	19.7	6.7	8.4	4.6	11.3	7.17	6.4
13.1	15.5	2.4	8.8	4.3	6.7	9.81	11.0
13.7	20.7	7.0	9.0	4.7	11.7	7.52	7.1
13.8	17.1	3.3	9.4	4.4	7.7	9.80	11.0
14.2	18.0	3.8	9.7	4.5	8.3	9.80	11.0
14.3	19.9	5.6	9.6	4.7	10.3	8.80	9.4
14.5	24.5	10.0	9.4	5.1	15.1	6.34	4.6
14.6	25.1	10.5	9.5	5.1	15.6	6.12	4.1
14.6	18.4	3.8	10.0	4.6	8.4	10.12	11.5
14.8	24.6	9.8	9.8	5.0	14.8	6.69	5.3
14.8	18.5	3.7	10.2	4.6	8.3	10.34	11.8
15.4	19.5	4.1	10.7	4.7	8.8	10.58	12.2
15.5	25.4	9.9	10.4	5.1	15.0	7.20	6.4
15.6	19.1	3.5	10.9	4.7	8.2	11.11	12.9
16.0	26.1	10.1	10.9	5.1	15.2	7.50	7.0
16.0	23.2	7.2	11.0	5.0	12.2	9.24	10.1
16.3	19.3	3.0	11.6	4.7	7.7	12.00	14.1
16.4	24.1	7.7	11.4	5.0	12.7	9.29	10.2
16.4	20.2	3.8	11.7	4.7	8.5	11.62	13.6
16.6	23.4	6.8	11.7	4.9	11.7	9.99	11.3
17.0	26.4	9.4	11.8	5.2	14.6	8.79	9.4
17.0	22.8	5.8	12.0	5.0	10.8	10.94	12.7
17.4	20.8	3.4	12.6	4.8	8.2	12.75	15.1
17.5	23.3	5.8	12.4	5.1	10.9	11.40	13.3
17.8	21.2	3.4	12.9	4.9	8.3	13.13	15.5
17.8	20.1	2.3	13.0	4.8	7.1	13.79	16.3
18.0	21.9	3.9	13.1	4.9	8.8	13.00	15.4
18.4	21.1	2.7	13.4	5.0	7.7	14.13	16.7
18.8	26.7	7.9	13.6	5.2	13.1	11.40	13.3
19.3	27.9	8.6	13.9	5.4	14.0	11.49	13.4
19.8	26.5	6.7	14.6	5.2	11.9	13.15	15.5
20.1	27.6	7.5	14.8	5.3	12.7	12.98	15.3
20.2	26.9	6.7	15.0	5.2	11.9	13.57	16.0
20.4	27.2	6.8	15.1	5.3	12.1	13.73	16.2
20.8	28.5	7.7	15.2	5.6	13.3	13.63	16.1
t'	t	d	t'_a	∂'_a	∂''_a	e	τ

II. Untersuchungen mit Benzin.

t'	t	d	t'_b	ϑ'_b	ϑ''_b	e	τ
11.6	15.2	3.6	2.5	9.1	12.7	8.05	8.1
11.6	15.8	4.2	2.2	9.4	13.6	7.70	7.4
11.8	15.9	4.1	2.4	9.4	13.5	7.83	7.7
11.8	15.3	3.5	2.7	9.1	12.6	8.24	8.4
12.0	16.3	4.3	2.8	9.2	13.5	7.91	7.8
12.4	14.5	2.1	3.0	9.4	11.5	9.48	10.5
12.4	14.9	2.5	2.9	9.5	12.0	9.24	10.1
12.7	14.9	2.2	3.1	9.6	11.8	9.64	10.8
12.9	18.1	5.2	3.7	9.2	14.4	8.00	8.0
13.0	16.0	3.0	3.4	9.6	12.6	9.37	10.3
13.2	16.1	2.9	3.6	9.6	12.5	9.58	10.7
13.2	17.5	4.3	3.9	9.3	13.6	8.76	9.3
13.3	16.4	3.1	3.7	9.6	12.7	9.54	10.6
13.7	16.8	3.1	4.0	9.7	12.8	9.84	11.1
14.1	15.9	1.8	4.0	10.1	11.9	10.91	12.6
14.5	18.3	3.8	4.9	9.6	13.4	10.04	11.4
14.6	20.2	5.6	5.2	9.4	15.0	9.04	9.8
14.7	24.9	10.2	6.0	8.7	18.9	6.38	4.7
15.0	18.6	3.6	5.3	9.7	13.3	10.55	12.1
15.2	19.8	4.6	5.5	9.7	14.3	10.11	11.5
16.0	19.3	3.3	6.0	10.0	13.3	11.57	13.6
16.2	19.0	2.8	6.05	10.15	12.95	12.04	14.2
16.3	22.9	6.6	6.8	9.5	16.1	9.86	11.1
16.6	19.5	2.9	6.6	10.0	12.9	12.32	14.5
16.8	25.1	8.3	7.7	9.1	17.4	9.28	10.2
17.0	21.9	4.9	7.1	9.9	14.8	11.49	12.0
17.2	22.9	5.7	7.4	9.8	15.5	11.20	13.1
17.4	22.7	5.3	7.7	9.7	15.0	11.61	13.6
18.1	26.6	8.5	8.7	9.4	17.9	10.35	11.8
18.2	29.1	10.9	9.1	9.1	20.0	9.02	9.8
18.5	29.3	10.8	9.5	9.0	19.8	9.37	10.3
18.6	20.8	2.2	8.1	10.5	12.7	14.63	17.2
18.7	29.1	10.4	9.6	9.1	19.5	9.88	11.1
18.7	27.2	8.5	9.3	9.4	17.9	10.95	12.7
19.2	24.2	5.0	9.0	10.2	15.2	13.55	16.0
19.4	22.9	3.5	8.9	10.5	14.0	14.65	17.2
19.6	28.8	9.2	10.0	9.6	18.8	11.42	13.4
19.7	26.3	6.6	9.5	10.2	16.8	13.11	15.5
20.4	25.1	4.7	10.0	10.4	15.1	15.00	17.6
20.6	28.3	7.7	10.4	10.2	17.9	13.42	15.9
20.8	26.9	6.1	10.4	10.4	16.5	14.60	17.2
20.8	27.0	6.2	10.8	10.0	16.2	14.54	17.1
t'	t	d	t'_b	ϑ'_b	ϑ''_b	e	τ

III. Untersuchungen mit Chloroform.

t'	t	d	t'_c	∂'_c	∂''_c	e	τ
12.4	16.8	4.4	— 4.8	17.2	21.6	8.12	8.2
12.9	17.1	4.2	— 4.5	17.4	21.6	8.60	9.1
13.2	16.9	3.7	— 4.3	17.5	21.2	9.11	9.9
13.6	15.0	1.4	— 3.8	17.4	18.8	10.78	12.5
13.9	16.8	2.9	— 3.6	17.5	20.4	10.10	11.5
14.2	18.3	4.1	— 3.6	17.8	21.8	9.61	10.7
14.8	18.1	3.3	— 3.0	17.8	21.1	10.57	12.2
15.2	19.5	4.3	— 2.8	18.0	22.3	10.30	11.8
15.3	17.7	2.4	— 2.7	18.0	20.4	11.52	13.5
15.4	18.7	3.3	— 2.6	18.0	21.3	11.06	12.9
15.5	18.0	2.5	— 2.5	18.0	20.5	11.61	13.6
16.0	18.4	2.4	— 2.25	18.25	20.65	12.10	14.3
16.4	19.1	2.7	— 2.0	18.4	21.1	12.28	14.5
16.6	20.9	4.3	— 2.0	18.6	21.9	11.49	13.4
17.0	22.4	5.4	— 1.7	18.7	24.1	11.19	13.0
17.2	23.5	6.3	— 1.6	18.8	25.1	10.84	12.6
19.7	25.3	5.6	+ 0.3	19.4	25.0	13.71	16.2
20.1	25.1	5.0	+ 0.6	19.5	24.5	14.49	17.1
20.8	27.4	6.6	+ 1.0	19.8	26.4	14.30	16.9
t'	t	d	t'_c	∂'_c	∂''_c	e	τ

IV. Untersuchungen mit Schwefelkohlenstoff.

t'	t	d	t'_s	∂'_s	∂''_s	e	τ
8.6	14.3	5.7	— 17.2	25.8	31.5	4.98	1.1
10.6	12.8	2.2	— 15.2	25.8	28.0	8.24	8.4
11.3	14.7	3.4	— 14.8	26.1	29.5	7.97	7.9
11.5	15.0	3.5	— 14.5	26.0	29.5	8.04	8.0
11.8	16.2	4.4	— 14.7	26.5	30.9	7.71	7.4
12.1	15.0	2.9	— 14.2	26.3	29.2	8.23	8.4
12.4	20.5	8.1	— 14.6	27.0	35.1	5.91	3.6
12.7	18.0	5.3	— 14.1	26.8	32.1	7.80	7.6
13.6	18.6	5.0	— 13.3	26.9	31.9	8.63	9.1
14.0	19.3	5.3	— 13.1	27.1	32.4	8.75	9.3
14.2	22.7	8.5	— 13.2	27.4	35.9	6.99	6.0
14.4	17.7	3.3	— 12.7	27.1	30.4	10.25	11.7
14.6	17.9	3.3	— 12.5	27.1	30.4	10.41	11.9
14.8	18.3	3.5	— 12.3	27.1	30.6	10.45	12.0
14.9	25.3	10.4	— 12.9	27.8	38.2	6.42	4.7
15.6	21.7	6.1	— 12.1	27.7	33.8	9.56	10.6
16.0	22.0	6.0	— 11.7	27.7	33.7	9.95	11.2

Schwefelkohlenstoff.

t'	t	d	t'_s	∂'_s	∂''_s	e	τ
16.0	23.1	7.1	— 11.8	27.8	34.9	9.30	10.2
16.2	19.2	3.0	— 11.3	27.5	30.5	11.91	14.0
16.4	18.6	2.2	— 11.1	27.5	29.7	12.57	14.8
16.4	22.7	6.3	— 11.5	27.9	34.2	10.12	11.5
16.6	24.5	7.9	— 11.5	28.1	36.0	9.33	10.3
17.4	20.5	3.1	— 10.4	27.8	30.9	12.94	15.3
17.6	21.0	3.4	— 10.3	27.9	31.3	12.92	15.3
18.4	21.1	2.7	— 9.6	28.0	30.7	14.13	16.7
18.8	25.9	7.1	— 9.7	28.5	35.6	11.89	14.0
19.1	27.7	8.6	— 9.8	28.9	37.5	11.28	13 2
19.8	26.5	6.7	— 8.9	28.7	35.4	13.16	15.6
20.1	27.1	7.0	— 8.9	29.0	36.0	13.29	15.7
20.4	26.9	6.5	— 8.5	28.9	35.4	13.92	16.4
t'	t	d	t'_s	∂'_s	∂''_s	e	τ

V. Untersuchungen mit Aether.

t'	t	d	t'_{ae}	∂'_{ae}	∂''_{ae}	e	τ
10.4	13.0	2.6	— 16.9	27.3	29.9	7.87	7.7
11.2	13.0	1.8	— 16.4	27.6	29.4	8.85	9.5
11.5	17.2	5.7	— 16.3	27.8	33.5	6.74	5.5
12.5	14.9	2.4	— 15.6	28.1	30.5	9.37	10.3
12.8	18.0	5.2	— 15.5	28.3	33.5	7.93	7.8
13.0	16.1	3.1	— 15.2	28.2	31.3	9.32	10.3
13.8	17.1	3.3	— 14.7	28.5	31.8	9.80	11.0
14.4	21.2	6.8	— 14.4	28.8	35.6	8.17	8.3
15.0	18.7	3.7	— 13.7	28.7	32.4	10.50	12.1
16.2	23.7	7.5	— 13.2	29.4	36.9	9.22	10.1
16.5	20.1	3.6	— 12.9	29.4	33.0	11.81	13.9
16.7	19.7	3.0	— 12.6	29.3	32.3	12.35	14.6
16.8	21.6	4.8	— 12.7	29.5	34.3	11.37	13.3
17.4	23.4	6.0	— 12.3	29.7	35.7	11.20	13.1
17.8	21.1	3.3	— 11.9	29.7	33.0	13.19	15.6
18.3	20.9	2.6	— 11.7	30.0	32.6	14.09	16.6
19.4	24.7	5.3	— 10.8	30.2	35.5	13.57	16.0
19.9	28.0	8.1	— 10.6	30.5	38.6	12.41	14.6
20.2	25.1	4.9	— 10.3	30.5	35.4	14.66	17.3
21.1	27.2	6.1	— 9.7	30.8	36.9	14.94	17.6
t'	t	d	t'_{ae}	∂'_{ae}	∂''_{ae}	e	τ

Uebereinstimmend aus diesen Tabellen ergiebt sich das Resultat, dass die t'_a, t'_b, t'_c, t'_s und t'_{ae} nicht direkt abhängig sind von e oder τ, dass sie vielmehr hauptsächlich bedingt sind durch die Werthe von t'. Es bleiben nämlich für alle beobachteten Temperaturen die Grössen ∂'_a, ∂'_b, ∂'_c, ∂'_s und ∂'_{ae} annähernd konstant; so schwankt z. B. der Werth von ∂'_a nur zwischen 3,3° und 5,6°, der von ∂'_b nur zwischen 8,7° und 10,5° u. s. w. Man ersieht ferner, dass diese Grössen im allgemeinen gleichzeitig mit t' wachsen, dass sie jedoch ausserdem von t bezw. d abhängig sind. Um diese Abhängigkeit übersichtlicher und genauer darzustellen, wurden die erhaltenen Resultate graphisch in Kärtchen eingetragen, wie dies aus den beigefügten Kärtchen, die für Alkohol und Benzin gültig sind, sich ersehen lässt (s. Tafel I und II.); hierin sind die Abscissen proportional den Werthen von t', die Ordinaten proportional den Werthen von d gewählt. Verbindet man jetzt in Abständen von je 1° die gleichwerthigen Zahlen mit einander, so erhält man ein System von Linien, welche — wenigstens innerhalb des Beobachtungs-Intervalles — gerade, parallel zu einander und gleichweit entfernt von einander sind. Verlängert man diese Linien bis zum Durchschnitt mit der Coordinate $d = o$, so erhält man die Werthe von t'_a, t'_b, t'_c, t'_s, und t'_{ae} für den Fall, dass die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist. Wir wollen für diesen speziellen Fall

$$\partial'_a = \partial''_a = \partial_a,\ \partial'_b = \partial''_b = \partial_b \text{ u. s. w.}$$

oder allgemein:

$\partial' = \partial'' = \partial$ setzen, und erhalten alsdann die Gleichung:

$$(1) \qquad \partial = C_1 + C_2 t',$$

worin C_1 und C_2 zwei Constante bezeichnen, die für jede Flüssigkeit andere Werthe besitzen.

Für beliebige Werthe von d ergiebt sich ferner:

$$(2) \qquad \begin{cases} t'_a = t' - \partial_a - C_3 . d, \\ t'_b = t' - \partial_b - C_3 . d, \text{ u. s. w.} \end{cases}$$

wo mit C_3 eine dritte, für jede Flüssigkeit verschiedene, Constante bezeichnet ist. Durch einfache Rechnung wurden für die C_1, C_2 und C_3 die folgenden Werthe bestimmt:

	Alkohol.	Benzin.	Chloroform.	Schwefel-kohlenstoff.	Aether.
C_1	+ 2.65	+ 7.79	+ 13.48	+ 22.82	+ 24.02
C_2	+ 0.111	+ 0.167	+ 0.286	+ 0.265	+ 0.310
C_3	+ 0.081	— 0.145	+ 0.048	+ 0.100	+ 0.055

Durch Einsetzen dieser Werthe erhält man:

$$(1a)\quad \begin{cases} \partial_a = 2.65^0 + 0.111\ t' \\ \partial_b = 7.79^0 + 0.167\ t' \\ \partial_c = 13.48^0 + 0.286\ t' \\ \partial_s = 22.82^0 + 0.265\ t' \\ \partial_{ae} = 24.02^0 + 0.310\ t' \end{cases}$$

sowie ferner die allgemeineren Gleichungen:

$$(2a)\quad \begin{cases} t'_a = 0.970\,t' - 0.081\,t - 2.65^0 \\ t'_b = 0.688\,t' + 0.145\,t - 7.79^0 \\ t'_c = 0.762\,t' - 0.048\,t - 13.48^0 \\ t'_s = 0.835\,t' - 0.100\,t - 22.82^0 \\ t'_{ae} = 0.745\,t' - 0.055\,t - 34.02^0 \end{cases}$$

Diese auf rein empirischen Wege gefundenen Formeln verdienen allgemeine Gültigkeit für die gewöhnlichen Feuchtigkeits-Verhältnisse der Atmosphäre innerhalb der Temperaturen + 10° C und + 30° C. Es geht aus denselben hervor, dass die durch die Verdunstungskälte hervorgerufene Temperaturabnahme ∂'' wächst mit abnehmender Luftfeuchtigkeit, dass dieselbe am geringsteu ist bei gesättigter Luft, am grössten dagegen bei absolut trockener Luft. Nimmt man an, dass die Formeln (1) und (2) für jeden Feuchtigkeitsgrad der Luft gelten, so kann man damit für den Zustand der absoluten Trockenheit, sowie für den der Sättigung die beifolgenden Tabellen berechnen:

I. Tabellen für die Verdunstungskälte bei absoluter Trockenheit der Luft.

a.

t	t'	ϑ''_w	t'_a	ϑ''_a	t'_b	ϑ''_b	t'_c	ϑ''_c	t'_s	ϑ''_s	t'_{ae}	ϑ''_{ae}	t
7.90	+ 0.0	7.90	— 3.29	11.19	— 6.64	14.54	— 13.86	21.76	— 23.61	31.51	— 24.45	32.35	7.90
9.47	+ 1.0	8.47	— 2.45	11.92	— 5.73	15.20	— 13.17	22.64	— 22.93	32.40	— 23.79	33.26	9.47
11.08	+ 2.0	9.08	— 1.61	12.69	— 4.80	15.88	— 12.49	23.57	— 22.26	33.34	— 23.14	34.22	11.08
12.73	+ 3.0	9.73	— 0.77	13.50	— 3.88	16.61	— 11.80	24.53	— 21.59	34.32	— 22.48	35.21	12.73
14.41	+ 4.0	10.41	+ 0.06	14.35	— 2.95	17.36	— 11.12	25.53	— 20.92	35.33	— 21.83	36.24	14.41
16.12	+ 5.0	11.12	+ 0.89	15.23	— 2.01	18.13	— 10.44	26.56	— 20.26	36.38	— 21.18	37.30	16.12
17.90	+ 6.0	11.90	+ 1.72	16.18	— 1.06	18.96	— 9.77	27.67	— 19.60	37.50	— 20.53	38.43	17.90
19.72	+ 7.0	12.72	+ 2.54	17.18	— 0.11	19.83	— 9.10	28.82	— 18.95	38.67	— 19.89	39.61	19.72
21.59	+ 8.0	13.59	+ 3.36	18.21	+ 0.84	20.75	— 8.42	30.01	— 18.30	39.89	— 19.25	40.84	21.59
23.50	+ 9.0	14.50	+ 4.18	19.32	+ 1.81	21.69	— 7.75	31.25	— 17.66	41.16	— 18.61	42.11	23.50
25.49	+ 10.0	15.49	+ 4.99	20.50	+ 2.79	22.70	— 7.08	32.57	— 17.02	42.51	— 17.97	43.46	25.49
27.51	+ 11.0	16.51	+ 5.79	21.72	+ 3.77	23.74	— 6.42	33.93	— 16.39	43.90	— 17.34	44.85	27.51
29.61	+ 12.0	17.61	+ 6.59	23.02	+ 4.76	24.85	— 5.76	35.37	— 15.76	45.37	— 16.71	46.32	29.61
31.76	+ 13.0	18.76	+ 7.39	24.37	+ 5.76	26.00	— 5.09	36.85	— 15.14	46.90	— 16.08	47.84	31.76
33.98	+ 14.0	19.98	+ 8.18	25.80	+ 6.77	27.21	— 4.44	38.42	— 14.53	48.51	— 15.46	49.44	33.98
36.27	+ 15.0	21.27	+ 8.96	27.31	+ 7.79	28.48	— 3.79	40.06	— 13.92	50.19	— 14.84	51.11	36.27
38.64	+ 16.0	22.64	+ 9.74	28.90	+ 8.82	29.82	— 3.14	41.78	— 13.32	51.96	— 14.23	52.87	38.64
41.07	+ 17.0	24.07	+ 10.51	30.56	+ 9.87	31.20	— 2.50	43.57	— 12.73	53.80	— 13.62	54.69	41.07
43.60	+ 18.0	25.60	+ 11.28	32.32	+ 10.91	32.69	— 1.85	45.45	— 12.15	55.75	— 13.01	56.61	43.60
46.21	+ 19.0	27.21	+ 12.04	34.17	+ 11.98	34.23	— 1.22	47.43	— 11.58	57.79	— 12.41	58.62	46.21
48.94	+ 20.0	28.94	+ 12.79	36.15	+ 13.07	35.87	— 0.59	49.53	— 11.01	59.95	— 11.81	60.75	48.94
51.73	+ 21.0	30.73	+ 13.53	38.20	+ 14.16	37.57	+ 0.04	51.67	— 10.45	62.18	— 11.22	62.95	51.73
t	t'	ϑ''_w	t'_a	ϑ''_a	t'_b	ϑ''_b	t'_c	ϑ''_c	t'_s	ϑ''_s	t'_{ae}	ϑ''_{ae}	t

b.

t	t'	∂''_w	t'_a	∂''_a	t'_b	∂''_b	t'_c	∂''_c	t'_s	∂''_s	t'_{ae}	∂''_{ae}	t
+ 8.0	+ 0.06	7.94	— 3.24	11.24	— 6.59	14.59	— 13.81	21.81	— 23.57	31.57	— 24.41	32.41	+ 8.0
+ 9.0	+ 0.70	8.30	— 2.70	11.70	— 6.00	15.00	— 13.38	22.38	— 23.14	32.14	— 23.99	32.99	+ 9.0
+ 10.0	+ 1.33	8.67	— 2.17	12.17	— 5.42	15.42	— 12.95	22.95	— 22.71	32.71	— 23.58	33.58	+ 10.0
+ 11.0	+ 1.95	9.05	— 1.65	12.65	— 4.85	15.85	— 12.53	23.53	— 22.29	33.29	— 23.17	34.17	+ 11.0
+ 12.0	+ 2.56	9.44	— 1.14	13.14	— 4.29	16.29	— 12.11	24.11	— 21.88	33.88	— 22.77	34.77	+ 12.0
+ 13.0	+ 3.16	9.84	— 0.63	13.63	— 3.73	16.73	— 11.70	24.70	— 21.48	34.48	— 22.38	35.38	+ 13.0
+ 14.0	+ 3.75	10.25	— 0.14	14.14	— 3.18	17.18	— 11.29	25.29	— 21.09	35.09	— 21.99	35.99	+ 14.0
+ 15.0	+ 4.34	10.66	+ 0.35	14.65	— 2.63	17.63	— 10.89	25.89	— 20.70	35.70	— 21.61	36.61	+ 15.0
+ 16.0	+ 4.93	11.07	+ 0.83	15.17	— 2.08	18.08	— 10.50	26.50	— 20.31	36.31	— 21.23	37.23	+ 16.0
+ 17.0	+ 5.50	11.50	+ 1.30	15.70	— 1.54	18.54	— 10.11	27.11	— 19.93	36.93	— 20.86	37.86	+ 17.0
+ 18.0	+ 6.06	11.94	+ 1.77	16.23	— 1.01	19.01	— 9.73	27.73	— 19.56	37.56	— 20.50	38.50	+ 18.0
+ 19.0	+ 6.61	12.39	+ 2.22	16.78	— 0.49	19.49	— 9.36	28.36	— 19.20	38.20	— 20.14	39.14	+ 19.0
+ 20.0	+ 7.15	12.85	+ 2.67	17.33	+ 0.03	19.97	— 8.99	28.99	— 18.85	38.85	— 19.79	39.79	+ 20.0
+ 21.0	+ 7.69	13.31	+ 3.11	17.89	+ 0.54	20.46	— 8.63	29.63	— 18.50	39.50	— 19.45	40.45	+ 21.0
+ 22.0	+ 8.22	13.78	+ 3.54	18.46	+ 1.05	20.95	— 8.27	30.27	— 18.16	40.16	— 19.11	41.11	+ 22.0
+ 23.0	+ 8.74	14.26	+ 3.97	19.03	+ 1.55	21.45	— 7.92	30.92	— 17.83	40.83	— 18.78	41.78	+ 23.0
+ 24.0	+ 9.25	14.75	+ 4.38	19.62	+ 2.05	21.95	— 7.58	31.58	— 17.50	41.50	— 18.45	42.45	+ 24.0
+ 25.0	+ 9.75	15.25	+ 4.78	20.22	+ 2.54	22.46	— 7.25	32.25	— 17.18	42.18	— 18.13	43.13	+ 25.0
+ 26.0	+ 10.25	15.75	+ 5.18	20.82	+ 3.03	22.97	— 6.92	32.92	— 16.86	42.86	— 17.81	43.81	+ 26.0
+ 27.0	+ 10.74	16.26	+ 5.58	21.42	+ 3.52	23.48	— 6.59	33.59	— 16.55	43.55	— 17.50	44.51	+ 27.0
+ 28.0	+ 11.23	16.77	+ 5.97	22.03	+ 4.00	24.00	— 6.26	34.26	— 16.24	44.24	— 17.19	45.19	+ 28.0
+ 29.0	+ 11.71	17.29	+ 6.36	22.64	+ 4.47	24.53	— 5.94	34.94	— 15.94	44.94	— 16.89	45.89	+ 29.0
+ 30.0	+ 12.18	17.82	+ 6.74	23.26	+ 4.94	25.06	— 5.63	35.63	— 15.65	45.65	— 16.59	46.59	+ 30.0
+ 31.0	+ 12.65	18.35	+ 7.11	23.89	+ 5.41	25.59	— 5.33	36.33	— 15.36	46.36	— 16.30	47.30	+ 31.0
+ 32.0	+ 13.11	18.89	+ 7.48	24.52	+ 5.87	26.13	— 5.03	37.03	— 15.08	47.08	— 16.01	48.01	+ 32.0
+ 33.0	+ 13.56	19.44	+ 7.84	25.16	+ 6.33	26.67	— 4.73	37.73	— 14.80	47.80	— 15.73	48.73	+ 33.0
t	t'	∂''_w	t'_a	∂''_a	t'_b	∂''_b	t'_c	∂''_c	t'_s	∂''_s	t'_{ae}	∂''_{ae}	t

II. Tabelle für die Verdunstungskälte bei Sättigung der Luft mit Wasserdampf.

t	t'_a	∂_a	t'_b	∂_b	t'_c	∂_c	t'_s	∂_s	t'_{ae}	∂_{ae}	t
5,0	+ 1.79	3.21	— 3.62	8.62	— 9,91	14.91	— 19.15	24.15	— 20.57	25.57	5.0
6 0	+ 2.68	3.32	— 2.79	8.79	— 9.19	15.19	— 18.41	24.41	— 19.88	25.88	6.0
7.0	+ 3 57	3.43	— 1.96	8.96	— 8.48	15.48	— 17.68	24.68	— 19.19	26 19	7.0
8.0	+ 4.46	3 54	— 1.12	9.12	— 7.77	15.77	— 16.94	24.94	— 18.50	26.50	8.0
9.0	+ 5.35	3.65	— 0.29	9.29	— 7.05	16.05	— 16 21	25.21	— 17.81	26.81	9.0
10.0	+ 6.24	3.76	+ 0.54	9.46	— 6.34	16.34	— 15.47	25.47	— 17.12	27.12	10.0
11.0	+ 7.13	3.87	+ 1 38	9.62	— 5.62	16.62	— 14.74	25.74	— 16.43	27.43	11.0
12.0	+ 8.02	3 98	+ 2.21	9.79	— 4.91	16.91	— 14.00	26 00	— 15.74	27.74	12.0
13 0	+ 8.91	4.09	+ 3 04	9.96	— 4.19	17.19	— 13.27	26.27	— 15.05	28.05	13.0
14 0	+ 9.80	4 20	+ 3.88	10.12	— 3.48	17.48	— 12.53	26.53	— 14.36	28.36	14.0
15.0	+ 10.68	4.32	+ 4.71	10.29	— 2.77	17.77	— 11.80	26.80	— 13.67	28.67	15.0
16.0	+ 11.57	4.43	+ 5.54	10.46	— 2.05	18.05	— 11.06	27.06	— 12.98	28.98	16.0
17.0	+ 12.46	4.54	+ 6.38	10.62	— 1.34	18 34	— 10.33	27.33	— 12 29	29.29	17.0
18.0	+ 13.35	4.65	+ 7.21	10.79	— 0.62	18.62	— 9.59	27 59	— 11.60	29.60	18.0
19.0	+ 14 24	4.76	+ 8.04	10.96	+ 0.09	18.91	— 8.86	27.86	— 10.91	29.91	19.0
20.0	+ 15.13	4.87	+ 8.88	11.12	+ 0 81	19.19	— 8.12	28.12	— 10.22	30.22	20.0
21.0	+ 16.02	4.98	+ 9.71	11.29	+ 1.52	19.48	— 7.39	28.39	— 9.53	30.53	21.0
22.0	+ 16.91	5.09	+ 10.45	11.46	+ 2.23	19.77	— 6.65	28.65	— 8.84	30.84	22.0
23 0	+ 17.80	5.20	+ 11.38	11.62	+ 2.95	20.05	— 5.92	28.92	— 8.15	31.15	23.0
24.0	+ 18.69	5.31	+ 12.21	11.79	+ 3.66	20.34	— 5.18	29.18	— 7.46	31.46	24.0
25.0	+ 19.57	5.43	+ 13.04	11.96	+ 4.38	20.62	— 4.45	29.45	— 6.77	31 77	25.0
26.0	+ 20.46	5.54	+ 13.88	12.12	+ 5.09	20.91	— 3.71	29.71	— 6.08	32.08	26.0
t	t'_a	∂_a	t'_b	∂_b	t'_c	∂_c	t'_s	∂_s	t'_{ae}	∂_{ae}	t

Bei den vorstehenden Tabellen I ist zu Grunde gelegt eine Tabelle für die Verdunstungskälte des Wassers bei absolut trockener Luft unter einem Drucke von 740 mm; dieselbe wurde berechnet nach den Psychrometer-Tafeln von Wild und Jelinek. In den Kärtchen auf Tafel I und II sind diese Werthe dargestellt durch die unten links befindliche Curve. Verlängert man hier das System der parallelen Linien bis zum Durchschnitt mit dieser Curve, so erhält man ebenfalls die Werthe von t'_a, t'_b, u. s. w., wie sie in den beigegebenen Tabellen berechnet sind.

Zur übersichtlichen Darstellung der in diesen Tabellen berechneten Werthe möge das Kärtchen auf Tafel III dienen; hierin sind die Abscissenwerthe proportional zu ∂, die Ordinatenwerthe proportional zu t gewählt. Die punktirten Linien stellen die Verdunstungskälte der betreffenden Flüssigkeit für den Sättigungszustand der Luft dar, die ausgezogenen für den Zustand absoluter Trockenheit; erstere sind gerade Linien zufolge der ihnen zu Grunde liegenden Formel: $\partial = C_1 + C_2\, t'$. Schwefelkohlenstoff und Aether geben in allen Fällen nahe übereinstimmende Werthe, auffallend indessen ist die Divergenz der Curven für Alkohol und Benzin bei abnehmendem t, während die entsprechenden punktirten Linien konvergiren.

Es lässt sich annehmen, dass, ebenso wie Wasser, auch die hier untersuchten Flüssigkeiten in erstarrtem Zustande eine andere Verdunstungskälte besitzen; es sind daher die in den Tabellen für Benzin berechneten Werthe unter 0^0 jedenfalls nicht genau zutreffend, da Benzin zwischen 0^0 und $+ 2^0$ erstarrt. Die anderen untersuchten Flüssigkeiten behalten bei allen berechneten Temperaturen ihren flüssigen Aggregatzustand.

Es ist nun von vornherein einleuchtend, dass alle bisherigen, auf rein empirischem Wege gewonnenen Formeln nicht wohl auf Allgemeinheit Anspruch erheben können, dass dieselben vielmehr nur im Stande sind, Annäherungswerthe innerhalb einer beschränkten Temperatur- und Feuchtigkeits-Grenze zu geben. Denn es liegt gar kein Grund vor, weshalb die Verdunstungskälte von Flüssigkeiten, die, auch als Dämpfe,

sich in keinem Verhältniss mit Wasser mischen lassen, von der Höhe der Temperatur t' abhängig sein sollte. Genaue und allgemeiner gültige Formeln zu erreichen ist vielmehr erst möglich, wenn anstatt der Temperatur t' die Spannkraft e des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes, sowie gleichzeitig die den Temperaturen t'_a t'_b . . . . entsprechenden Spannkräfte E_a, E_b . . . . der betreffenden Flüssigkeitsdämpfe eingeführt werden.

Wir wissen, dass die Verdunstungskälte einer Flüssigkeit abhängt von folgenden Umständen:

1, von der Temperatur der umgebenden Luft;

2, von der Dichtigkeit und dem Druck derselben;

3, von der Bewegung derselben;

4, von der Menge der bereits in Dampfform in der Luft enthaltenen Flüssigkeit;

5, endlich wirkt die Adhäsion in einer bisher genauer noch nicht bestimmten Art und Weise verzögernd — und infolge dessen erwärmend — auf die Verdunstung ein.

Es bezeichne:

E den Druck der Sättigung,

e den Druck des bereits in der Luft enthaltenen Dampfes,

t die Temperatur der Luft,

t_1 die Temperatur des mit der zu untersuchenden Flüssigkeit benetzten Thermometers, also:

$t - t_1$ die durch die Verdunstung bewirkte Temperaturerniedrigung. Barometerstand und Luftbewegung wurden als konstant angenommen; für diesen Fall ist nach den von Régnault in seinen „Etudes sur l'Hygrometrie" gegebenen Formeln:

$$(3) \qquad e = E - c_1 t_1 (t - t_1) - c_2 (t - t_1),$$

worin c_1 und c_2 Constanten bezeichnen, deren Werth für Wasser beträgt:

$$c_1 = 0{,}0009739, \quad c_2 = 0{,}5821,$$

unter der Voraussetzung mässig bewegter Luft und eines konstanten Luftdruckes von 740 mm.

Vermöge der Allgemeinheit der hierbei von Régnault angestellten Betrachtungen ist diese Formel für alle Flüssigkeiten gültig, welche sich in Dampfform überführen lassen. Da man

nun im allgemeinen die Menge der bereits in Dampfform in der Luft enthaltenen Flüssigkeit als verschwindend klein annehmen darf, so wird:

$$(4) \qquad E - c_1 t_1 (t - t_1) - c_2 (t - t_1) = 0.$$

Offenbar hat diese Formel in völlig trockener Luft volle Gültigkeit; indessen haben wir sonst in jedem Falle den in der Luft enthaltenen Wasserdampf mit in Rechnung zu ziehen. Denn einerseits wird dadurch, dass die Mehrzahl der untersuchten Flüssigkeiten durch ihre Verdunstung eine Abkühlung bis weit unter den Thaupunkt hervorbringt, ein Theil des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes kondensirt, und schlägt sich an der Mousselinehülle des Thermometergefässes nieder, indem er sich, je nach der Natur der zu untersuchenden Flüssigkeit, entweder mit derselben vermischt, oder ausserhalb jener eine trennende Flüssigkeits- oder Reifschicht bildet; der erstere Fall tritt insbesondere ein bei Aether, der letztere namentlich bei Schwefelkohlenstoff und Chloroform. Diese Absorption von Wasserdämpfen macht sich auch dadurch bemerkbar, dass das betreffende Thermometer bei Fortsetzung der Verdunstung nochmals einen konstanten Stand erreicht, welcher gleich ist der Temperatur t'; am wenigsten konnte diese Erscheinung bei Benzin beobachtet werden. In jedem Falle hat die Absorption von Wasserdampf zur Folge, dass die Temperatur t_1 sich erhöht, die entsprechende Differenz ∂'' sich verringert. Es ist klar, dass diese Temperatur- Erhöhung um so grösser ausfällt, je bedeutender die Menge des absorbirten Wasserdampfes ist; diese aber hängt ab:

1., von dem Ueberschuss der in der Luft enthaltenen Dampfmenge m über die Dampfmenge m_1, welche sich bei der Temperatur t_1 in der Luft aufgelöst befinden kann;

2., von der Bewegung der Luft; hierdurch erklärt sich die auffallende Erscheinung, dass bei Aether durch starke Luftbewegung häufig eine nicht so tiefe Temperatur erreicht wurde, als in ruhiger Luft.

3., von der Dauer der Beobachtung, bezw. der Länge der zwischen Befeuchtung und Ablesung liegenden Zeit.

Da es demnach unmöglich sein dürfte, die absolute Menge

des absorbirten Wasserdampfes sowie das Mischungsverhältniss der durch die Absorption entstandenen Flüssigkeit genau zu bestimmen, — ändert sich ja doch dieses Verhältniss von Moment zu Moment und bedingt dies das überaus kurze Andauern des tiefsten Thermometerstandes — so können wir auch hier nicht versuchen, rein theoretische Formeln zu entwickeln, müssen uns vielmehr darauf beschränken, aus den experimentell gewonnenen Resultaten empirische Regeln herzuleiten.

Aber noch auf andere Weise wirkt der in der Luft enthaltene Wasserdampf verzögernd auf die Verdunstung und infolge dessen erhöhend auf die Temperatur t_1 ein; wir haben hier auf Verhältnisse über die Spannkraft von Gemeng-Dämpfen einzugehen, welche insbesondere von Régnault und Wüllner znm Gegenstande genauer Untersuchungen gemacht sind*). Denn durch die Verdunstung entsteht in dem Raume, welcher das Thermometergefäss unmittelbar umgiebt, ein Gemenge von Wasserdampf und Dampf der untersuchten Flüssigkeit. Die eben genannten Physiker haben nun nachgewiesen, dass Gemenge von Flüssigkeiten, die sich vollkommen auflösen, Dampfspannungen ergeben, die insgemein geringer sind, als die, welche die flüchtigere Flüssigkeit allein hervorgebracht haben würde. Die Gegenwart der zweiten Flüssigkeit, bezw. Dampfes, vermindert in diesem Falle die Verdampfungskraft der flüchtigeren um eine Grösse, welche durch die Dämpfe jener nicht ersetzt wird; diese Grösse lässt sich als proportional zu der vorhandenen Spannkraft der Dämpfe der weniger flüchtigen Flüssigkeit annehmen.

Dieser Fall tritt ein bei der Verdunstung von Alkohol, der einzigen unter den untersuchten Flüssigkeiten, die in jedem Verhältniss mit Wasser mischbar ist. Für Alkohol erhalten wir daher anstatt der oben gegebenen Formel (4):

$$E_a - c_1 t'_a \ (t - t'_a) - c_2 \ (t - t'_a) = k. \ e,$$

worin E_a die Maximal-Spannkraft des Alkoholdampfes bei der Temperatur t'_a, e dagegen die Spannkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes, k eine Constante bezeichnet. Doch

*) Siehe Pogg. Ann. Bd. XCIII und CXXIX.

kann diese Formel natürlich nur dann Gültigkeit besitzen, wenn kein Wasserdampf aus der Luft absorbirt wird, wenn also t'_a höher liegt als der Thaupunkt. Ist dagegen $t'_a < \tau$, so besitzt der Wasserdampf in dem das Thermometergefäss umhüllenden Raume offenbar nur die Spannkraft e', welche bei der Temperatur t'_a als Maximum möglich ist; der überschüssige Dampf von der Spannkraft $(e - e')$ wird kondensirt; hierdurch wird die Verdampfungskraft des Alkohols vermindert um eine Grösse, die man proportional zu $(e - e')$ annehmen darf. Für diesen Fall erhalten wir somit die Gleichung:

$$E_a - c_1 \cdot t'_a (t - t'_a) - c_2 (t - t'_a) = k \cdot e' + k' (e - e'),$$

wo eine vierte Constante k' eingeführt ist.

Ganz ähnlich gestalten sich die Verhältnisse bei Aether; diese Flüssigkeit mischt sich nur in begrenztem Verhältniss mit Wasser — 36 Volumen Aether nehmen nur 1 Volum Wasser auf. — Für diesen Fall ist nun von Régnault nachgewiesen, dass die Spannkraft des Gemengdampfes gleich ist der Spannkraft des der flüchtigeren Flüssigkeit entsprechenden Dampfes; es ist demnach für Aether der Faktor $k = 1$ zu setzen, im übrigen aber die soeben für Alkohol gefundene Formel gültig, also:

$$E_{ae} - c_1 t'_{ae} (t - t'_{ae}) - c_2 (t - t'_{ae}) = e' + k' (e - e').$$

Für Schwefelkohlenstoff, Chloroform und Benzin endlich ist $k = 0$ zu setzen; denn diese Flüssigkeiten lösen sich nur in einem äusserst geringen Grade in Wasser; so ist Chloroform erst in 200, Schwefelkohlenstoff sogar erst in 1000 Theilen Wasser löslich, Benzin fast ganz unlöslich. Die Spannkraft aber des Gemengdampfes zweier Flüssigkeiten, welche sich nicht mit einander mischen, kommt sehr nahe gleich der Summe der von den Substanzen einzeln gegebenen Spannkräfte. Wir erhalten demnach für diese Flüssigkeiten die Formel:

$$E - c_1 t_1 (t - t_1) - c_2 (t - t_1) = k' (e - e'),$$

oder wir haben die allgemein für alle untersuchten Flüssigkeiten gültige Gleichung:

(5) $$E - c_1 t_1 (t - t_1) - c_2 (t - t_1) = k \cdot e' + k' (e - e'),$$

in welcher nur die vier Constanten c_1, c_2, k und k' für die

einzelnen Flüssigkeiten verschiedene Werthe besitzen; dieselben sind:

	c_1	c_2	k	k'
Alkohol	— 0.0116	+ 0.918	+ 1.7689	+ 1.516
Aether	+ 0.004	+ 1.94	+ 1.0	+ 3.514
Chloroform	— 0.018	+ 1.346	0	+ 2.9791

Auf Benzin und Schwefelkohlenstoff liess sich die Formel (5) nicht ohne weiteres anwenden; der Grund dürfte darin liegen, dass bei Benzin die Grösse $(e - e')$ meist zu klein ist und dass der nothwendige Beobachtungsfehler auf diese Grösse einen zu erheblichen Einfluss ausübt, dass dagegen bei Schwefelkohlenstoff die reifartige, umhüllende Schicht, welche sich durch Absorption des Wasserdampfes am Thermometergefäss bildet, zu dick wird, als dass man die Verminderung der Verdampfungskraft, welche durch dieselbe herbeigeführt wird, einfach proportional zu $(e - e')$ setzen könnte. Jedenfalls ist auch für diese Flüssigkeiten die Gleichung gültig:

$$(6) \quad E - c_1 t_1 (t - t_1) - c_2 (t - t_1) = f(e', e),$$

wenn $f(e', e)$ eine Funktion von e' und e bezeichnet; dieselbe wird sich indessen erst aus umfassenderen Beobachtungen, als den hier vorliegenden, ermitteln lassen.

Es sind endlich beistehend noch einige Tabellen beigegeben, die eine Uebersicht gestatten, in wie weit die oben aufgestellten Formeln mit den Beobachtungsresultaten übereinstimmen.

Tabellen zur Bestimmung der Constanten k und k'.

a) für Alkohol.

t	t'_a	$t-t'_a$	E_a	e	e'	$e-e'$	k
7.2	2.2	5.0	14.69	5.76	5.38	0.38	1.794
8.1	3.0	5.1	15.48	6.19	5.69	0.50	1.796
9.3	3.2	6.1	15.68	5.91	5.77	0.14	1.749
9.8	3.9	5.9	16.41	6.28	6.06	0.22	1.804
10.3	4.7	5.6	17.29	7.11	6.40	0.71	1.778
11.2	4.6	6.6	17.18	6.59	6.36	0.23	1.748
11.5	2.5	9.0	14.98	3.98	5.49	—	1.754
11.7	5.2	6.5	17.85	7.10	6.63	0.47	1.744
11.9	5.6	6.3	18.33	7.33	6.81	0.52	1.787
12.9	3.9	9.0	16.41	4.90	6.06	—	1.750
13.5	4.4	9.1	16.93	5.11	6.27	—	1.769
14.3	7.8	6.5	21.08	8.83	7.91	0.92	1.809
14.4	4.8	9.6	17.40	5.16	6.45	—	1.767
14.7	7.9	6.8	21.22	8.86	7.96	0.90	1.789
14.9	7.2	7.7	20.40	7.97	7.60	0.37	1.765
15.1	7.5	7.6	20.69	8.24	7.75	0.49	1.759
15.1	8.6	6.5	22.18	9.65	8.35	1.30	1.783
15.5	6.5	9.0	19.41	6.76	7.24	—	1.750
15.5	8.8	6.7	22.47	9.81	8.46	1.35	1.768
16.3	8.0	8.3	21.36	8.41	8.02	0.39	1.736
16.3	6.8	9.5	19.79	6.54	7.39	—	1.807
16.5	5.7	10.8	18.44	5.33	6.86	—	1.734
17.1	9.4	7.7	23.33	9.80	8.81	0.99	1.771
18.0	9.7	8.3	23.78	9.80	8.99	0.81	1.765
18.4	10.0	8.4	24.23	10.12	9.17	0.95	1.750
18.5	10.2	8.3	24.53	10.34	9.29	1.05	1.755
19.1	10.9	8.2	25.64	11.11	9.73	1.37	1.753
19.3	11.6	7.7	26.74	12.00	10.19	1.81	1.763
19.4	7.0	12.4	20.04	5.43	7.49	—	1.779
19.4	7.7	11.7	20.95	6.32	7.86	—	1.780
19.5	10.7	8.8	25.32	10.58	9.60	0.98	1.755
19.7	8.4	11.3	21.91	7.17	8.24	—	1.763
19.9	9.6	10.3	23.63	8.80	8.93	—	1.741
20.1	13.0	7.1	29.19	13.79	11.16	2.63	1.771
20.2	11.7	8.5	26.94	11.62	10.26	1.36	1.777
20.7	9.0	11.7	22.75	7.52	8.57	—	1.759
20.8	12.6	8.2	28.48	12.75	10.88	1.87	1.776
21.1	13.4	7.7	29.92	14.13	11.46	2.67	1.745
21.2	12.9	8.3	29.01	13.13	11.09	2.04	1.762
21.6	7.9	13.7	21.22	5.66	7.96	—	1.749
21.9	13.1	8.8	29.37	13.00	11.24	1.76	1.776
22.8	12.0	10.8	27.44	10.94	10.46	0.48	1.750
23.2	11.0	12.2	25.80	9.24	9.79	—	1.749
23.3	12.4	10.9	28.13	11.40	10.73	0.67	1.741
23.4	11.7	11.7	26.94	9.99	10.26	—	1.781

t	t'_a	$t-t'_a$	E_a	e	e'	$e-e'$	k
24.1	11.4	12.7	26.45	9.29	10.05	—	1.773
24.5	9.4	15.1	23.34	6.34	8.81	—	1.754
24.6	9.8	14.8	23.93	6.69	9.05	—	1.798
25.1	9.5	15.6	23.49	6.12	8.87	—	1.779
25.4	10.4	15.0	24.85	7.20	9.41	—	1.790
26.1	10.9	15.2	25.64	7.50	9.73	—	1.815
26.4	11.8	14.6	27.10	8.79	10.32	—	1.786
26.5	14.6	11.9	32.19	13.15	12.38	0.77	1.786
26.7	13.6	13.1	30.28	11.40	11.61	—	1.783
26.9	15.0	11.9	32.98	13.57	12.70	0.87	1.796
27.2	15.1	12.1	33.18	13.73	12.78	0.95	1.780
27.6	14.8	12.8	32.58	12.98	12.54	0.44	1.783
27.9	13.9	14.0	30.84	11.49	11.83	—	1.762
28.5	15.2	13.3	33.38	13.63	12.86	0.77	1.738
t	t'_a	$t-t'_a$	E_a	e	e'	$e-e'$	k

b) für Aether.

t	t'_{ae}	$t-t'_{ae}$	E_{ae}	e	e'	$e-e'$	k'
13.0	— 16.9	29.9	81.02	7.87	1.20	6.67	3.574
13.0	— 16.4	29.4	83.14	8.85	1.25	7.60	3.524
14.9	— 15.6	30.5	86.62	9.37	1.33	8.04	3.485
16.1	— 15.2	31.3	88.41	9.32	1.38	7.94	3.553
17.1	— 14.7	31.8	90.69	9.80	1.43	8.37	3.517
17.2	— 16.3	33.5	83.57	6.74	1.26	5.48	3.558
18.0	— 15.5	33.5	87.07	7.93	1.34	6.59	3.463
18.7	— 13.7	32.4	95.41	10.50	1.55	8.95	3.660
19.7	— 12.6	32.3	100.83	12.35	1.70	10.65	3.577
20.1	— 12.9	33.0	99.33	11.81	1.66	10.15	3.483
20.9	— 11.7	32.6	105.47	14.09	1.83	12.26	3.419
21.1	— 11.9	33.0	104.42	13.19	1.80	11.39	3.527
21.2	— 14.4	35.6	92.09	8.17	1.47	6.70	3.524
21.6	— 12.7	34.3	100.33	11.37	1.69	9.68	3.496
23.4	— 12.3	35.7	102.36	11.20	1.74	9.46	3.501
23.7	— 13.2	36.9	97.85	9.22	1.62	7.60	3.499
24.7	— 10.8	35.5	110.28	13.57	1.96	11.61	3.530
25.1	— 10.3	35.4	113.05	14.66	2.04	12.62	3.470
27.2	— 9.7	36.9	116.41	14.94	2.14	12.80	3.447
28.0	— 10.6	38.6	111.37	12.41	1.99	10.42	3.467
t	t'_{ae}	$t-t'_{ae}$	E_{ae}	e	e'	$e-e'$	k'

c) für Chloroform.

t	t'_c	$t-t'_c$	E_c	e	e'	$e-e'$	k'
15.0	— 3.8	18.8	48.42	10.78	3.42	7.36	3.020
16.8	— 4.8	21.6	45.76	8.12	3.16	4.96	2.988
16.8	— 3.6	20.4	48.97	10.10	3.47	6.63	3.045
16.9	— 4.3	21.2	47.08	9.11	3.28	5.83	2.899
17.1	— 4.5	21.6	46.55	8.60	3.23	5.37	2.929
17.7	— 2.7	20.4	51.49	11.52	3.72	7.80	2.954
18.0	— 2.5	20.5	52.07	11.61	3.78	7.83	3.008
18.1	— 3.0	21.1	50.64	10.57	3.64	6.93	3.045
18.3	— 3.6	21.9	48.97	9.61	3.47	6.14	2.943
18.4	— 2.25	20.65	52.80	12.10	3.86	8.24	2.933
18.7	— 2.6	21.3	51.88	11.06	3.75	7.31	3.038
19.1	— 2.0	21.1	53.53	12.28	3.93	8.35	2.919
19.5	— 2.8	22.3	51.20	10.30	3.69	6.61	3.035
20.9	— 2.0	22.9	53.53	11.49	3.93	7.56	2.894
22.4	— 1.7	24.1	54.43	11.19	4.03	7.16	2.968
23.5	— 1.6	25.1	54.73	10.84	4.06	6.78	2.982
25.1	+ 0.6	24.5	61.69	14.49	4.80	9.69	2.991
25.3	+ 0.3	25.0	60.70	13.71	4.70	9.01	3.017
27.4	+ 1.0	26.4	63.03	14.30	4.94	9.36	2.995
t	t'_c	$t-t'_c$	E_c	e	e'	$e-e'$	k'

Es wurden zunächst die Constanten c_1 und c_2, für Alkohol auch k', aus einer Reihe von Berechnungen bestimmt; die Tabellen enthalten alsdann alle zur Bestimmung von k bezw. k' erforderlichen Grössen, sowie die daraus sich ergebenden Werthe von k und k'.

Die Werthe von E_a, E_{ae} und E_c wurden nach der von Régnault*) gegebenen Formel:

$$lg\, E = a + b\,a^\tau + c\beta^\tau$$

mit Anwendung der von Zeuner**) für diese Formel berechneten Constanten bestimmt.

In einer weiteren Tabelle sind alsdann die Werthe von t'_a, t'_{ac} und t'_c für den Zustand absoluter Trockenheit der Luft nach der Formel (5) berechnet und mit den in den früheren Tabellen mit Hülfe von Formel (2) gefundenen verglichen. Die dort berechneten Werthe sind in dieser Tabelle mit T'_a, T'_{ae}, T'_c bezeichnet.

*) Régnault, Mém. d. l'Inst. XXVI. 679.

**) Zeuner, Grundz. d. mech. Wärmetheorie. 253.

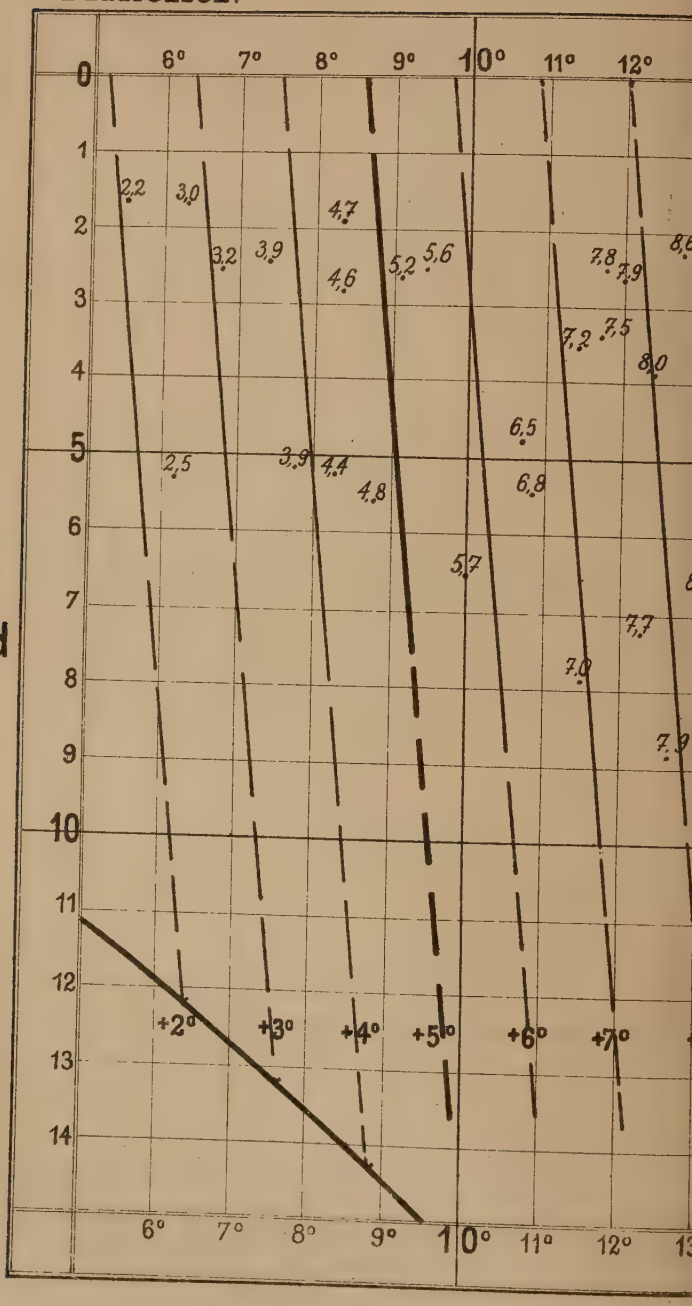
Tabelle für die Verdunstungskälte von Alkohol, Aether und Chloroform bei absoluter Trockenheit der Luft.

t	t'_a	$t-t'_a$	T'_a	E_a	t'_{ae}	$t-t'_{ae}$	T'_{ae}	E_{ae}	t'_c	$t-t'_c$	T'_c	E_c	t
+ 10°	— 1.90	11.90	— 2.17	11.19	— 22.53	32.53	— 23.58	60.22	— 10.84	20.84	— 12.95	32.10	+ 10°
+ 15°	+ 0.55	14.45	+ 0.35	13.17	— 20.72	35.72	— 21.61	66.32	— 8.91	23.91	— 10.89	36.04	+ 15°
+ 20°	+ 2.78	17.22	+ 2.67	15.26	— 18.99	38.99	— 19.79	72.66	— 7.13	27.13	— 8.99	40.02	+ 20°
+ 25°	+ 4.81	20.19	+ 4.78	17.41	— 17.34	42.34	— 18.13	79.20	— 5.48	30.48	— 7.25	44.02	+ 25°
+ 30°	+ 6.67	23.33	+ 6.74	19.61	— 15.76	45.76	— 16.59	85.92	— 3.93	33.93	— 5.63	48.07	+ 30°
+ 35°	+ 8.37	26.63	+ 8.53	21.86	— 14.26	49.26	— 15.18	92.74	— 2.48	37.48	— 4.15	52.12	+ 35°
+ 40°	+ 9.94	30.06	—	24.14	— 12.81	52.81	—	99.73	— 1.12	41.12	—	56.19	+ 40°
t	t'_a	$t-t'_a$	T'_a	E_a	t'_{ae}	$t-t'_{ae}$	T'_{ae}	E_{ae}	t'_c	$t-t'_c$	T'_c	E_c	t

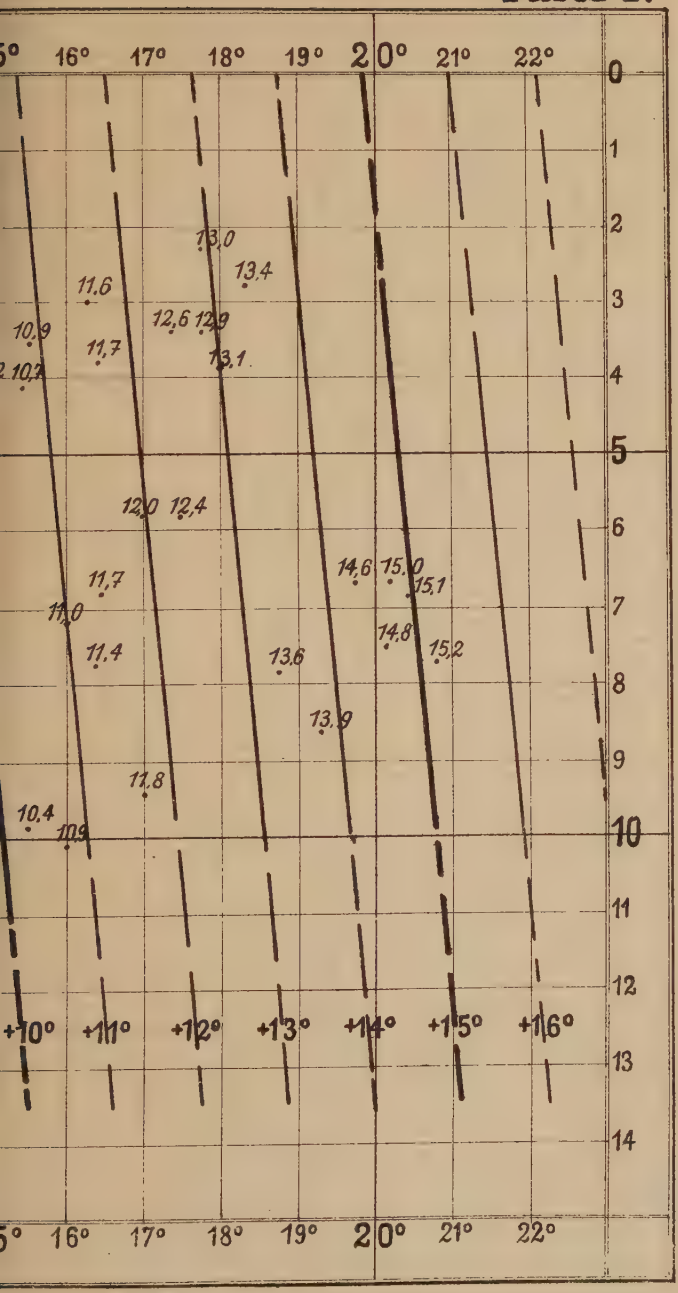
Dass die Formel (5) nur innerhalb eines beschränkten Temperaturintervalles genaue Geltung beanspruchen kann, sowie dass die Bestimmung der Constanten an Ungenauigkeiten leiden muss, geht aus dem oben gesagten hervor. Die Ungenauigkeiten nehmen zu mit der Grösse $(t - t_1)$; sie sind u. a. auch dadurch bedingt, dass die Dämpfe ihre Maximalspannkraft in der atmosphärischen Luft nicht sofort, wie im Vakuum, sondern nur sehr allmählich erlangen, und noch allmählicher, je grösser der Gehalt derselben an Wasserdampf ist. Allgemeinere Gültigkeit dürfte dagegen die Formel (6) besitzen.

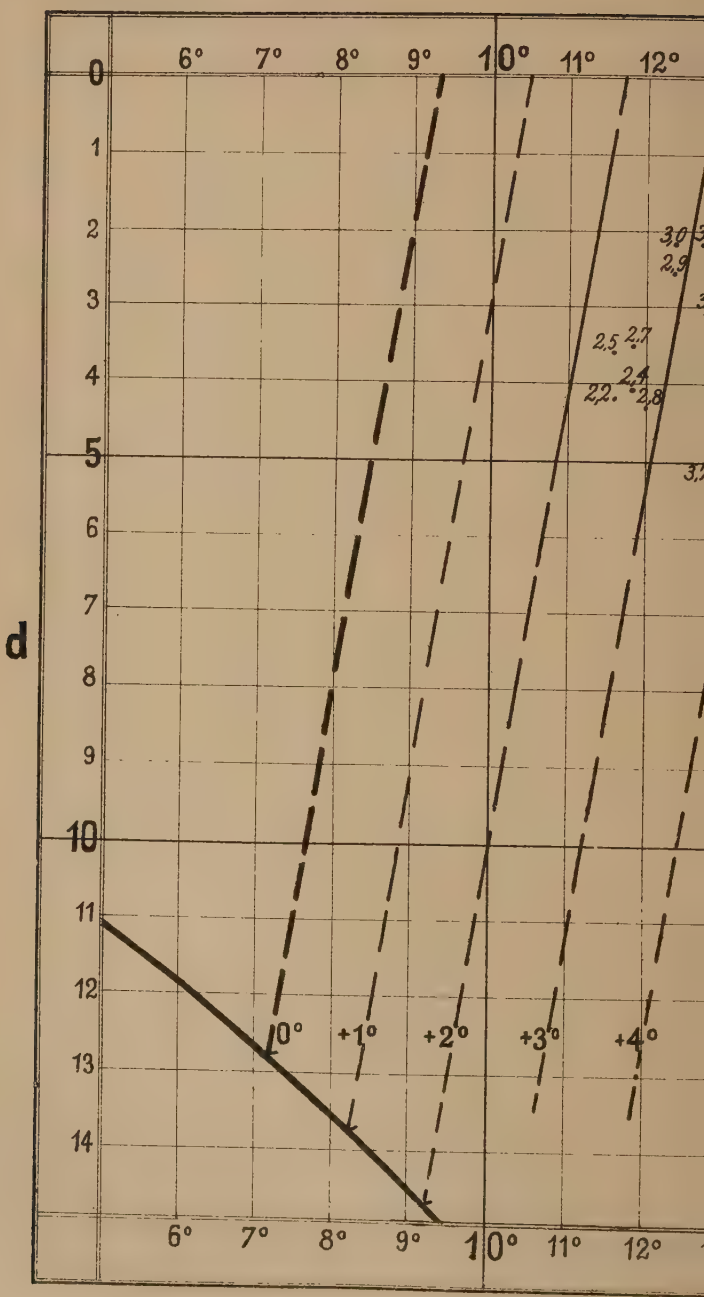
Die der vorstehenden Arbeit zu Grunde liegenden Beobachtungen wurden während des Sommers 1883 von mir im physikalischen Institut der Universität Marburg auf Veranlassung des Herrn Professor Dr. Melde angestellt und kann ich nicht umhin, demselben für seine freundlichen Bemühungen und Förderung meiner Arbeit auch an dieser Stelle meinen tiefgefühltesten Dank auszusprechen.

Halle.
Druck der Heynemann'schen Buchdruckerei.
(J. Fricke & F. Beyer).

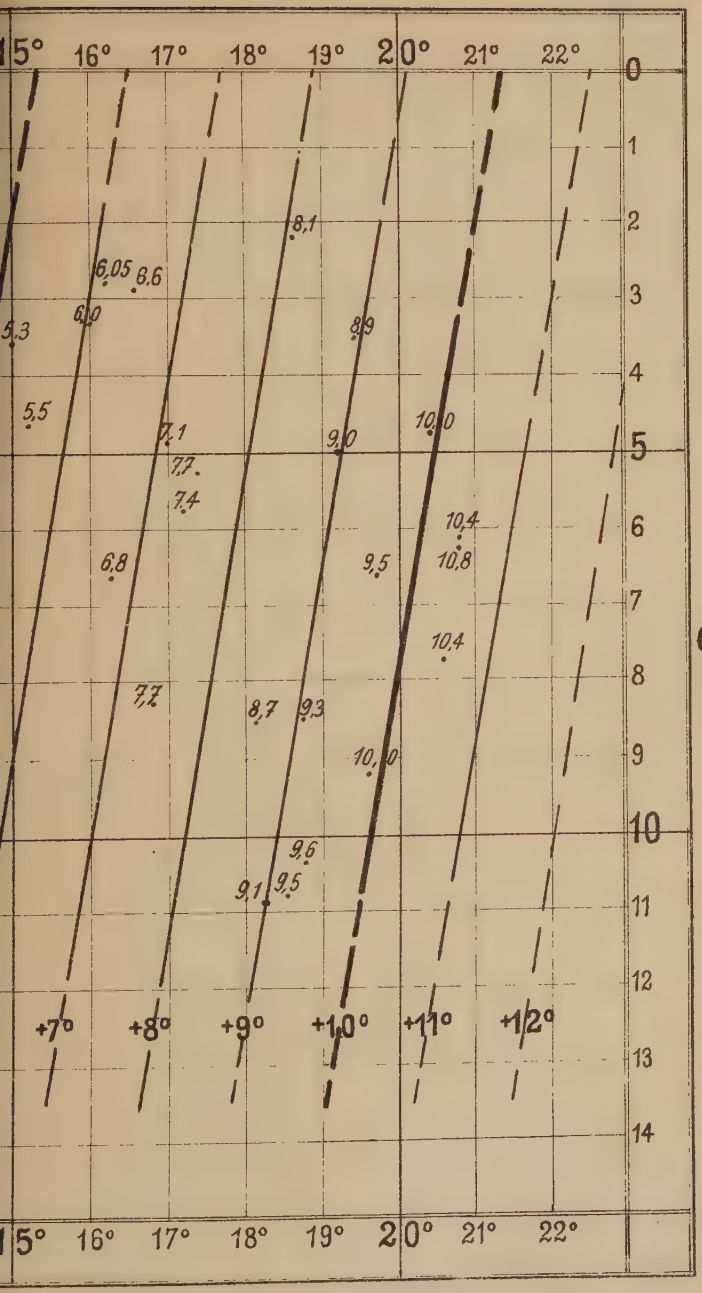

Alkohol.
d
6°
7°
8°
9°
10°
11°
12°
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
2,2
3,0
3,2
3,9
4,7
4,6
5,2
5,6
2,5
3,9
4,4
4,8
5,7
6,5
6,8
7,0
7,2
7,5
7,8
7,9
8,0
7,7
7,9
+2°
+3°
+4°
+5°
+6°
+7°

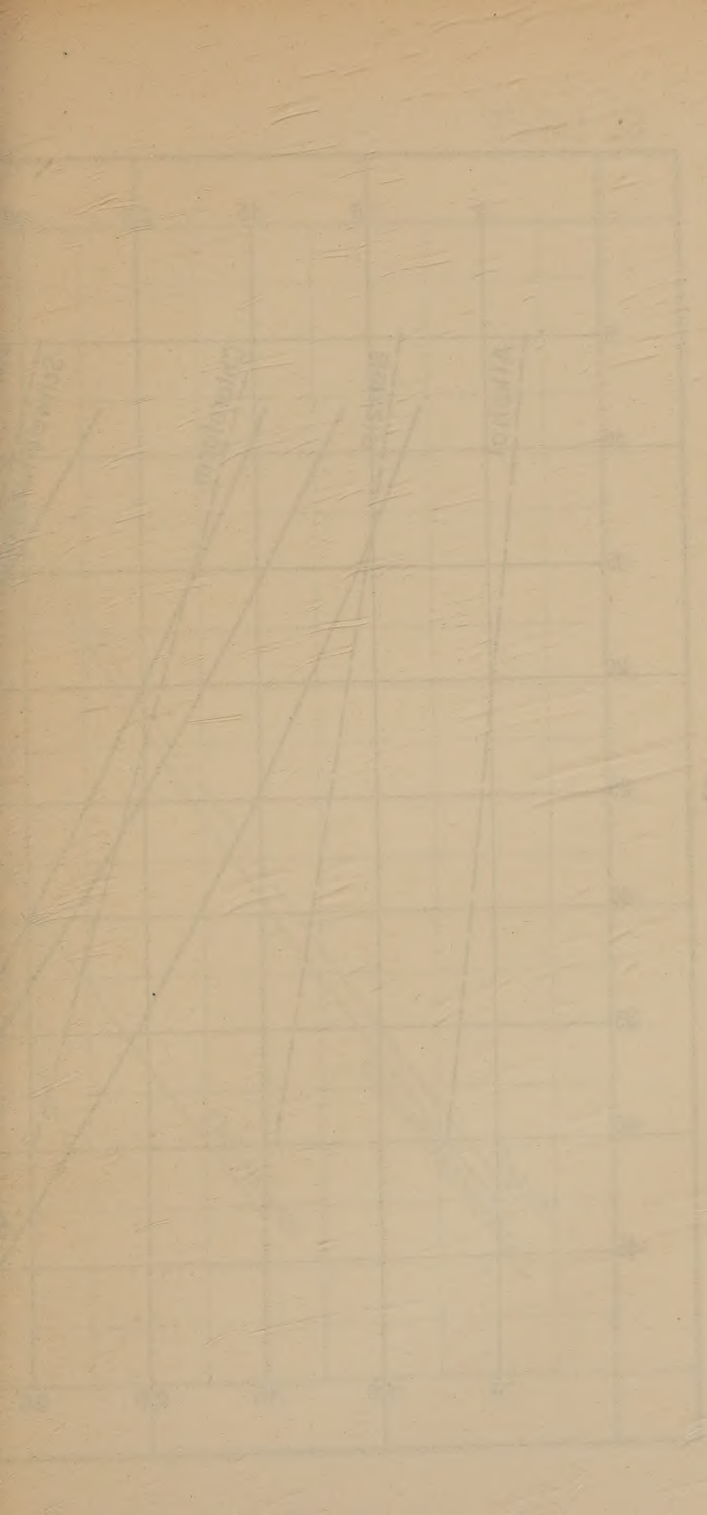
Tafel I.


15° 16° 17° 18° 19° 20° 21° 22°
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
d
+10° +11° +12° +13° +14° +15° +16°
10,9
11,6
12,6 12,9
11,7
13,1
13,0
13,4
12,0 12,4
11,7
11,0
11,4
13,6
13,9
11,8
10,4
10,9
14,6 15,0
15,1
14,8
15,2


Benzin.
d
6°
7°
8°
9°
10°
11°
12°
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
0°
+1°
+2°
+3°
+4°
3,0
2,9
2,5
2,7
2,2
2,4
2,8
3,2

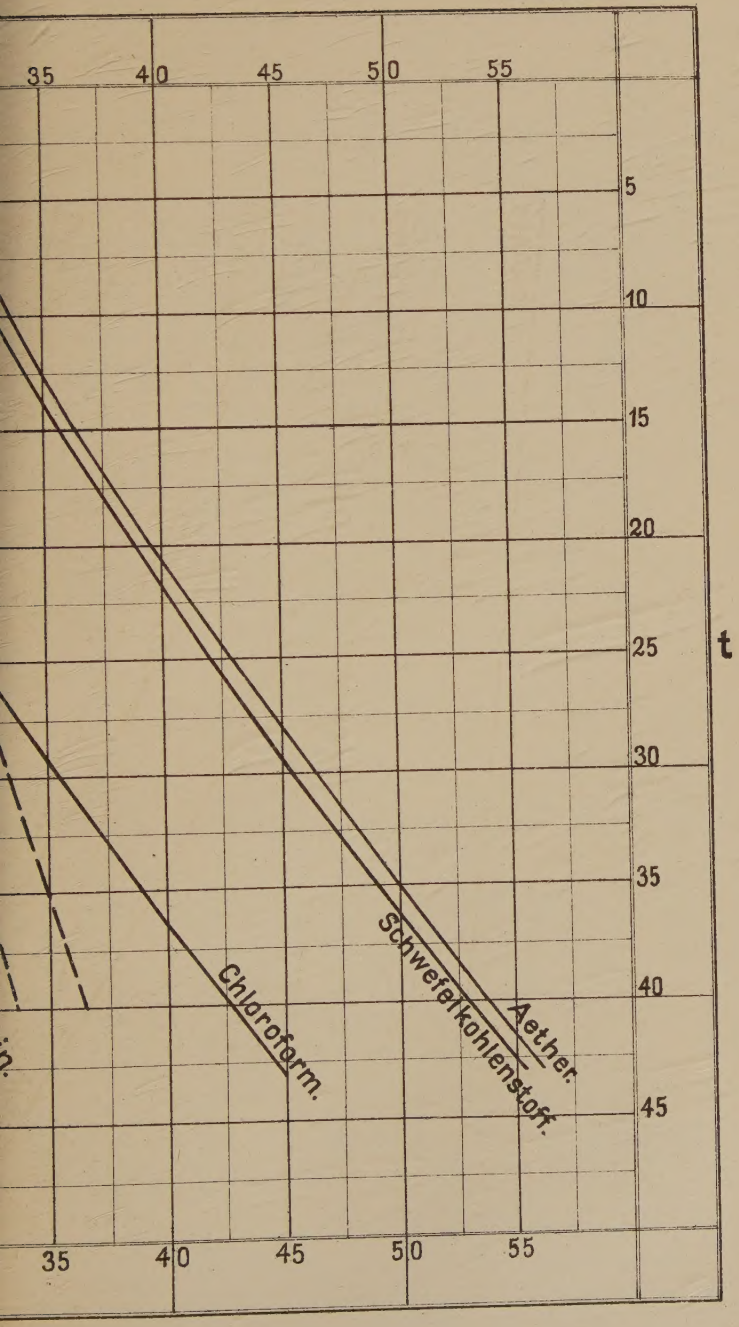
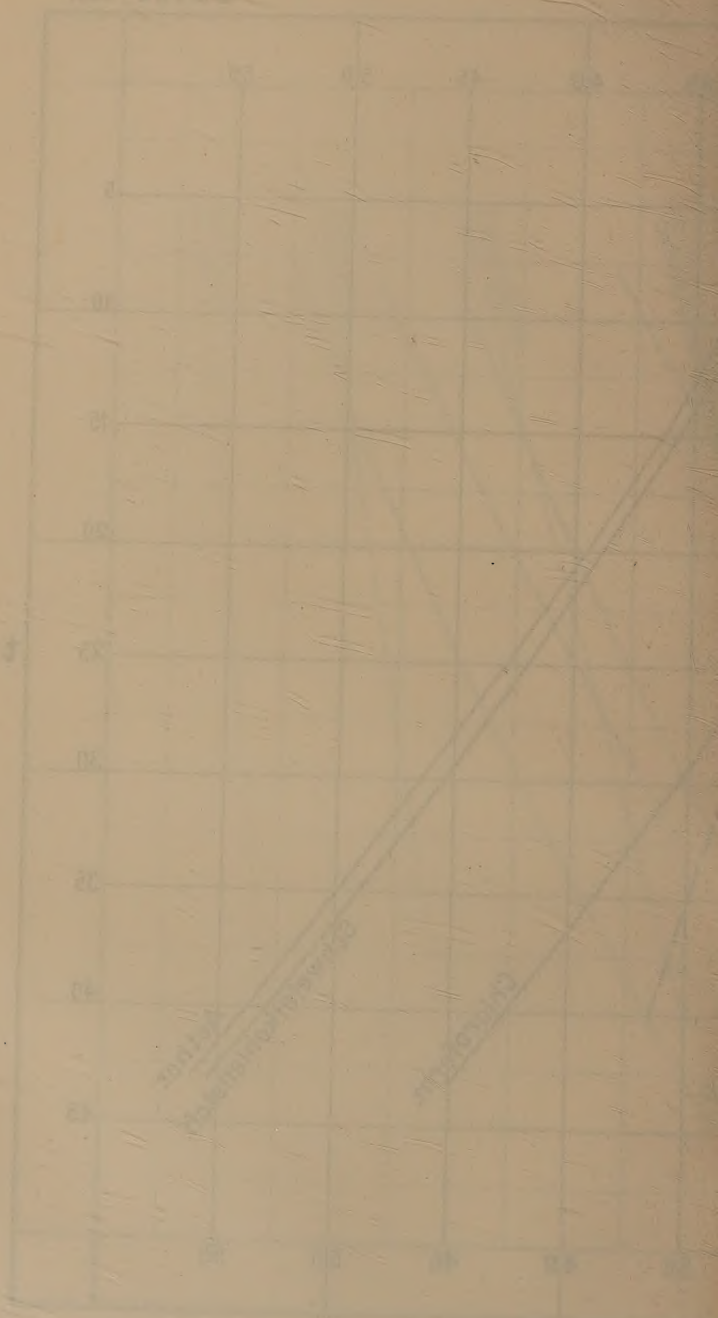
Tafel II.


15°
16°
17°
18°
19°
20°
21°
22°
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
d
+7°
+8°
+9°
+10°
+11°
+12°
5,3
6,0
6,05
6,6
5,5
6,8
7,1
7,7
7,4
7,7
8,1
8,7
9,3
9,1
9,5
9,6
8,9
9,0
9,5
10,0
10,0
10,4
10,8
10,4



5
10
15
20
25
Alkohol.
Benzin
Chloroform.
Schwefelkohlenstoff
t
5
10
15
20
25
30
35
40
45

Tafel III.


35
40
45
50
55
5
10
15
20
25
30
35
40
45
t
Schwefelkohlenstoff.
Aether.
Chloroform.